

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДСЧЁТА СПОР НОЗЕМАТОЗА ПЧЁЛ В МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Ермаков Т. С.<sup>1</sup>, Байзыт К. К.<sup>2</sup>**

**Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Платонов А. В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО, <sup>2</sup>СПбГУ

ts.ermakov@yandex.ru, kamilcan@yandex.ru

Работа выполнена в рамках проекта фундаментальных и поисковых научных исследований, поддержанного грантом Российского научного фонда [№ 23-16-00247](#) «РНК-интерференция генов микроспоридий одомашненных насекомых: поиск мишеней, конструирование эффекторных молекул и подавление развития патогенов в организме насекомого-хозяина».

### **Введение**

Нозематоз является одним из наиболее распространённых заболеваний медоносных пчёл (*Apis cerana*, *Apis mellifera*), вызываемым микроспоридиями рода *Nosema* [1]. Стандартным методом диагностики служит подсчёт спор в камере Горяева – ручная процедура, требующая высокой квалификации оператора и значительных затрат времени [2]. При массовых обследованиях оператору необходимо обработать сотни микроскопических изображений, что делает ручной подсчёт узким местом исследовательского процесса. Существуют решения для анализа клеточных структур, однако они не адаптированы к специфике спор нозематоза и не учитывают методику камеры Горяева. В связи с этим актуальной задачей является разработка автоматизированной системы детекции и подсчёта спор на основе методов компьютерного зрения и глубокого обучения, позволяющей повысить скорость и качество анализа.

### **Основная часть**

В рамках данного исследования разработана программная система автоматического подсчёта спор нозематоза в микроскопических изображениях камеры Горяева. Архитектура решения предполагает модульную структуру со следующими возможностями:

1) Классический метод детекции на основе OpenCV [3]. Реализован многоэтапный конвейер обработки изображений: предобработка (гауссово размытие, адаптивное выравнивание гистограммы CLAHE), двухпороговое обнаружение границ алгоритмом Кэнни, морфологические операции для удаления шума, фильтрация контуров по площади и форме, а также аппроксимация спор эллипсами с валидацией по эксцентриситету и интенсивности. Данный подход не показал высокой точности на различных данных, однако он не требует обучающей выборки и позволяет гибко настраивать параметры под различные условия съёмки, позволив сформировать первичный набор данных для разметки, тем самым снизить объём рутинных действий.

2) Метод на основе глубокого обучения. Для повышения точности детекции применена одноклассовая модель YOLO11-S [4], дообученная на размеченном наборе микроскопических изображений. Обучение проводилось с оптимизатором AdamW, аугментациями (мозаика, mixup, вращение, масштабирование, copy-paste) и разделением выборки 60/40. На текущем этапе достигнуты результаты: Precision - 0,709, Recall - 0,720, mAP@0,5 - 0,655. Для расширения обучающей выборки реализована система псевдоразметки, при которой предобученная модель генерирует аннотации для

неразмеченных изображений с последующей ручной верификацией.

3) Оба метода детекции интегрированы с модулем подсчёта титра по методу камеры Горяева: изображения обрабатываются триплетами (по три квадрата камеры), подсчитывается количество спор внутри зоны анализа, после чего вычисляется концентрация в миллионах спор на миллилитр раствора.

4) Генерация отчётов в форматах Markdown, Excel и CVAT XML, что обеспечивает возможность последующей верификации результатов и интеграции с инструментами аннотирования.

### **Выводы**

Разработанная система автоматизирует процесс подсчёта спор нозематоза пчёл, сочетая классические методы компьютерного зрения и современные модели глубокого обучения. Применение двух независимых подходов позволяет проводить кросс-валидацию результатов и выбирать оптимальный метод в зависимости от качества исходных изображений. Внедрение данного приложения позволит исследователям существенно ускорить диагностику нозематоза и борьбу с паразитами, повысив объективность результатов. В дальнейшем планируется улучшение точности распознавания с помощью дополнительной ручной разметки обучающей выборки, увеличения разрешения изображений и обучения модели на более мощном GPU, а также разработка алгоритма классификации двух типов спор *Nosema*.

### **Литература**

1. Fries I. *Nosema ceranae* in European honey bees (*Apis mellifera*) // *Journal of Invertebrate Pathology*. – 2010. – Vol. 103. – P. S73–S79.
2. Cantwell G.E. Standard methods for counting *Nosema* spores // *American Bee Journal*. – 1970. – Vol. 110. – P. 222–223.
3. Bradski, G. The OpenCV Library // *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*. – 2000. – Vol. 25, no. 11. – P. 120–125.
4. Jocher G., Qiu J., Chaurasia A. *Ultralytics YOLO11*. – 2024. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/ultralytics/ultralytics> (дата обращения: 14.02.2026).